

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets

(11) Veröffentlichungsnummer: **0 638 727 A1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(21) Anmeldenummer: 94111521.4

(51) Int. Cl.<sup>8</sup>: F04D 29/58

(22) Anmeldetag: 23.07.94

(30) Priorität: 14.08.93 DE 4327376

(71) Anmelder: **ABB Management AG**  
Haselstrasse 16  
CH-5401 Baden (CH)(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
15.02.95 Patentblatt 95/07(72) Erfinder: **Meylan, Pierre**  
Glärnischstrasse 19  
CH-5432 Neuenhof (CH)(64) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE FR GB**(54) **Verdichter sowie Verfahren zu dessen Betrieb.**

(57) Bei einem insbesondere für eine Gasturbine vorgesehenen Verdichter (1), der einen an seinem Umfang mit einer Mehrzahl von Laufschaufeln (5a-d) besetzten, um eine Verdichterachse drehbar gelagerten Rotor (3) umfasst, sowie ein Verdichtergehäuse (2), welches den Rotor (3) konzentrisch umgibt, wobei zwischen den äusseren Enden der Laufschaufeln (5a-d) und der Innenwand des Verdichtergehäuses (2) ein radiales Spiel vorgesehen ist, wird die

Möglichkeit des Warmstarts ohne Einbusse im Wirkungsgrad dadurch erreicht, dass zur Verringerung der Schwankungen des radialen Spiels das Verdichtergehäuse (2) heizbar ausgebildet und mit einer separaten, vom Betrieb des Verdichters unabhängigen Heizvorrichtung (22, 25, 27) verbunden ist, mittels derer es bei einem Warmstart aufgeheizt werden kann.

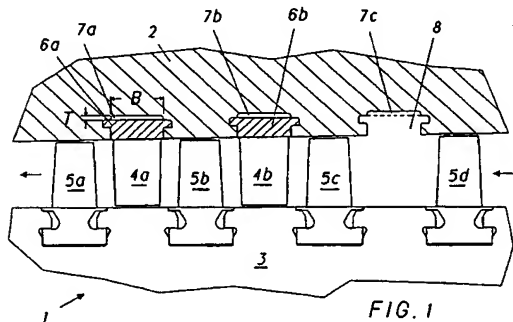
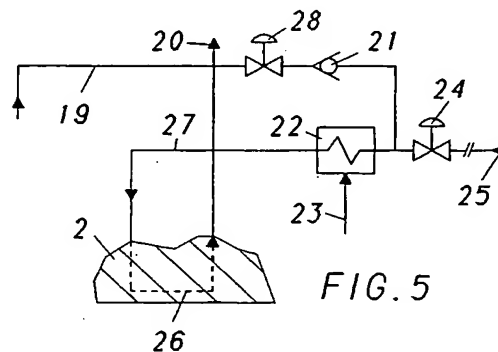


FIG. 1



EP 0 638 727 A1

## TECHNISCHES GEBIET

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Strömungsmaschinen. Sie betrifft einen Verdichter, insbesondere für eine Gasturbine, welcher Verdichter einen an seinem Umfang mit einer Mehrzahl von Laufschaufeln besetzten, um eine Verdichterachse drehbar gelagerten Rotor umfasst, sowie ein Verdichtergehäuse, welches den Rotor konzentrisch umgibt, wobei zwischen den äusseren Enden der Laufschaufeln und der Innenwand des Verdichtergehäuses ein radiales Spiel vorgesehen ist. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zum Betrieb eines solchen Verdichters.

Ein Verdichter der genannten Art ist z.B. aus der Druckschrift DE-A1-39 09 606 bekannt.

## STAND DER TECHNIK

Bei rotierenden Verdichtern, insbesondere auch Hochdruckverdichtern, wie sie beispielsweise in stationären Gasturbinen oder Turbinen-Triebwerken zur Kompression der Verbrennungsluft verwendet werden, sind auf einer Rotorwelle in mehreren Druckstufen hintereinander Kränze von Laufschaufeln angeordnet und konzentrisch von einem Verdichtergehäuse umgeben. Zwischen den äusseren Enden der Laufschaufeln und der Innenwand des Verdichtergehäuses ist ein radiales Spiel in der Grössenordnung von 1 mm vorgesehen, dass möglichst klein gehalten werden soll, um den Rückstrom der Luft und die damit einhergehende Verringerung des Wirkungsgrades gering zu halten. Entsprechendes gilt für die Kränze von Leitschaufeln, die zwischen den Druckstufen angeordnet und an der Innenwand des Verdichtergehäuses befestigt sind.

Die Verringerung des radialen Spiels wird dadurch erschwert, dass sich in unterschiedlichen Betriebszuständen des Verdichters Rotorscheaufeln und Verdichtergehäuse in unterschiedlichem Masse ausdehnen bzw. Zusammenziehen. Das radiale Spiel muss daher so gewählt werden, dass es unter den ungünstigsten Betriebsbedingungen, d.h., bei ausgedehntem Rotor und Laufschaufeln und zusammengezogenem Verdichtergehäuse, noch ausreichend ist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Veränderung des radialen Spiels sowohl mechanische als auch thermische Ursachen haben kann. Als mechanische Ursache kommt vor allem die radiale Auslenkung des Rotors und der Laufschaufeln durch die bei schneller Rotation angreifenden Fliehkräfte in Frage. Als thermische Ursachen sind unterschiedliche thermische Ausdehnungen in Rotor und Stator aufgrund von Temperaturdifferenzen oder unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten der verwendeten Materialien anzusehen.

In der Vergangenheit ist eine Vielzahl von Vorschlägen gemacht worden, die sich mit der aktiven Ausregelung des radialen Spiels (sog. "active clearance control") während des Betriebs befassen. Zu diesem Zweck wird beispielsweise in der eingangs genannten Druckschrift wahlweise kältere und/oder wärmere Druckluft, die aus unterschiedlichen Kompressionsstufen stammt, ins Innere des Rotors geleitet, um durch eine Steuerung der Temperatur der die Laufschaufeln tragenden Scheiben das radiale Spiel zu steuern. Eine vergleichbare Lösung ist auch in der EP-B1-0 140 818 offenbart. Spezielle Verfahren zum Steuern und Regeln des Spiels können z.B. der US-A 4,849,895 entnommen werden.

Neben der oben erwähnten Temperatursteuerung des Rotors ist auch bereits eine Temperatursteuerung des Verdichtergehäuses vorgeschlagen worden (US-A-4,230,436), bei der die Temperatur des Verdichtergehäuses durch einen mehr oder weniger starken Kühlluftstrom kontrolliert abgesenkt wird. Die Kühlluft wird dabei an unterschiedlichen Verdichterstufen entnommen und in Kühlkanälen sowohl hinter den Leitschaufeln als auch hinter der den Laufschaufeln gegenüberliegenden Innenwand des Verdichtergehäuses entlanggeführt.

Die bekannten Verfahren zur aktiven Spielregelung beziehen sich auf den normalen Betrieb des Verdichters. Sie können daher auch zur Kühlung bzw. Heizung verschiedener Verdichterteile oder -partien auf Verdichterluft unterschiedlicher Temperatur oder - im Falle des Verdichters einer Gasturbine - Heissgas aus dem Triebwerksteil zurückgreifen.

Nicht berücksichtigt ist dabei der Fall des sog. "Warmstarts", bei welchem der Verdichter nach einem vorangegangenen Abschalten, aber noch vor einer vollständigen Abkühlung, wieder anläuft: In diesem Fall befinden sich Rotor und Stator auf deutlich unterschiedlichen Temperaturen, da sich der aussenliegende Stator schneller abkühlt und entsprechend zusammenzieht, während der Rotor länger heiss bleibt und entsprechend seine Ausdehnung beibehält. Hierdurch verringert sich das radiale Spiel erheblich. Damit in diesem Zustand ein erneutes Starten möglich wird (Warmstart), muss bei der Auslegung des radialen Spiels dieser Sonderfall berücksichtigt werden, was zu erhöhten Werten des radialen Spiels führt.

## DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

Es ist nun Aufgabe der Erfindung, einen Verdichter zu schaffen, der ohne Verschlechterung des radialen Spiels für einen Warmstart geeignet ist, sowie ein Verfahren zu dessen Betrieb anzugeben.

Die Aufgabe wird bei einem Verdichter der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass zur

Verringerung der Schwankungen des radialen Spiels das Verdichtergehäuse heizbar ausgebildet und mit einer separaten, vom Betrieb des Verdichters unabhängigen Heizvorrichtung verbunden ist, mittels derer es bei einem Warmstart aufgeheizt werden kann.

Der Kern der Erfindung besteht darin, eine Heizvorrichtung vorzusehen, die unabhängig vom Betrieb des Verdichters arbeitet und das Verdichtergehäuse vor einem Warmstart soweit aufheizen kann, dass eine Verringerung des radialen Spiels durch ein Temperaturgefälle zwischen Rotor und Stator praktisch nicht mehr auftritt.

Eine erste bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemässen Verdichters zeichnet sich dadurch aus, dass im Verdichtergehäuse eine Mehrzahl von umlaufenden und in Richtung der Verdichterachse hintereinander angeordneten Heizkanälen vorgesehen sind, durch welche umlaufend ein aufgeheiztes Heizmedium geschickt werden kann, dass das Verdichtergehäuses an seinem inneren Umfang mit einer Mehrzahl von Leitschaufeln besetzt ist, dass zur Aufnahme der Leitschaufeln am inneren Umfang des Verdichtergehäuses Schaufeleindrehungen vorgesehen sind, in welche die Leitschaufeln mit entsprechenden Schaufelfüssen eingeschoben sind, und dass die Heizkanäle jeweils durch Nuten gebildet werden, welche in die Böden der Schaufeleindrehungen eingelassen sind. Hierdurch lässt sich eine besonders einfache und betriebssichere Heizung realisieren, bei der nur geringfügige Änderungen am Verdichtergehäuse vorgenommen werden müssen.

Eine zweite bevorzugte Ausführungsform der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass jeweils mehrere, vorzugsweise drei, Heizkanäle in einer Reihe hintereinandergeschaltet sind, dass das Heizmedium diese Reihe entgegen der Strömungsrichtung des Verdichters durchfliesst, dass jeder Heizkanal für sich genommen einen Kreisring bildet, und bei in Reihe geschalteten Heizkanälen die benachbarten einzelnen Heizkanäle durch parallel zur Verdichterachse laufende Transferkanäle untereinander verbunden sind. Hierdurch lässt sich eine effektive und gleichmässige Heizung bei einer gleichzeitig minimierten Zahl von externen Anschlüssen erreichen.

Bei einer dritten bevorzugten Ausführungsform wird als Heizmedium Druckluft verwendet, die Heizvorrichtung umfasst einen Druckluftanschluss, von welchem eine Druckluftzuleitung über eine Heizung zum Verdichtergehäuse führt, und die Heizung ist als elektrische Heizung ausgebildet (kann aber auch mittels Gasbrenner erfolgen).

Das erfindungsgemässe Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass zur Vorbereitung eines Warmstarts das Verdichtergehäuse nach dem Abschalten des Verdichters aufgeheizt wird, und dass

das Aufheizen erst dann beendet wird, wenn der Verdichter nach dem Warmstart einen bestimmten Teil, vorzugsweise etwa 75% bis 100%, seiner Vollast erreicht hat. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass dem Gehäuse nur solange externe Heizleistung zugeführt wird, bis die betriebsbedingte Angleichung der Temperaturen von Rotor und Stator erreicht ist.

Eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens zeichnet sich dadurch aus, dass zur Heizung des Verdichtergehäuses Druckluft erhitzt und durch in dem Verdichtergehäuse verlaufende Heizkanäle gepresst wird und dass beim Warmstart des Verdichters zunächst Druckluft von aussen zugeführt und nach Erreichen eines vorbestimmten Arbeitsdruckes im Verdichter die Zufuhr der Druckluft von aussen unterbrochen und an deren Stelle verdichtete Luft vom Ausgang des Verdichters abgezweigt und verwendet wird.

Weitere Ausführungsformen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

#### KURZE ERLÄUTERUNG DER FIGUREN

Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit den Figuren näher erläutert werden. Es zeigen

- Fig. 1 im Längsschnitt entlang der Rotorachse einen Ausschnitt aus einem Verdichter gemäss einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung mit unterhalb der Leitschaufeln angeordneten Heizkanälen im Verdichtergehäuse;
- Fig. 2 eine zu Fig. 1 entsprechende Darstellung mit einem Schnitt in der Ebene Z-Z aus Fig. 4 mit einem ersten Transferkanal, welcher zwei benachbarte Heizkanäle verbindet, und einem Auslasskanal;
- Fig. 3 eine zu Fig. 1 entsprechende Darstellung mit einem Schnitt entlang der Trennebene (18) aus Fig. 4 mit einem zweiten Transferkanal und einem Einlasskanal;
- Fig. 4 eine Querschnitt entlang der Ebenen X-X aus Fig. 2 (Gehäuseoberteil 2b) bzw. entlang der Ebene Y-Y aus Fig. 3 (Gehäuseunterteil 2a);
- Fig. 5 ein Schema für ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel einer Heizeinrichtung für den Verdichter nach der Erfindung; und
- Fig. 6 den schematisierten Strömungsweg des Heizmediums in der Heizkonfiguration nach Fig. 2 und 3.

# WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

In Fig. 1 ist eine bevorzugtes Ausführungsbeispiel eines Verdichters nach der Erfindung im Längsschnitt entlang der Rotorachse dargestellt. Der Verdichter 1 umfasst einen Rotor 3 und ein den Rotor 3 konzentrisch umgebendes Verdichtergehäuse 2. Auf dem Rotor 3 sind entlang der Rotorachse hintereinander eine Mehrzahl von Laufschaufelkränzen angeordnet, die ihrerseits jeweils eine Mehrzahl von Laufschaufeln 5a-d aufweisen. Die Laufschaufeln sind mit entsprechenden Schaufelfüssen am Rotor 3 befestigt (auf die schnittbedingte Schraffur ist am Rotor der Einfachheit halber verzichtet worden). Jeder der Laufschaufelkränze bildet eine eigene Verdichterstufe. Zwischen den einzelnen Laufschaufelkränzen sind Leitschaufelkränze angeordnet, deren einzelne Leitschaufeln 4a,b mit entsprechenden Schaufelfüssen 6a,b in Schaufeleindrehungen 8 am Verdichtergehäuse 2 (als Schaufelträger) befestigt sind (zur besseren Sichtbarkeit der Schaufeleindrehungen 8 ist der rechte Leitschaufelkranz weggelassen).

Zwischen den äusseren Enden der Laufschaufeln 5a-d und der Innenseite des Verdichtergehäuses 2 ebenso wie zwischen den inneren Enden der Leitschaufeln 4a,b und der Aussenfläche des Rotors 3 ist ein radiales Spiel vorgesehen, welches so gewählt ist, dass einerseits in jedem Betriebszustand ein Schleifen der Schaufelenden an der gegenüberliegenden Wand sicher vermieden wird, und dass andererseits der Wirkungsgrad des Verdichters durch den entstehenden Spalt nicht unnötig vermindert wird.

Das zu verdichtende Medium (z.B. die Verbrennungsluft einer Turbine) strömt in der Darstellung zwischen dem Rotor 3 und dem Verdichtergehäuse 2 von rechts nach links durch die Schaufelkränze, wird dabei verdichtet und erwärmt sich zunehmend. Ein Teil der entstehenden Kompressionswärme wird an Rotor 3, Verdichtergehäuse 2 und die Schaufeln 5a-d und 4a,b abgegeben. Damit stellt sich während des Betriebs ein Temperaturprofil im Verdichter ein, dass entlang der Rotorachse von rechts nach links zunimmt, während die Temperaturunterschiede in radialer Richtung zwischen Rotor 3 und Verdichtergehäuse vergleichsweise gering sind. Da sich Rotor und Verdichtergehäuse im Normalbetrieb in gleichem Umfang erwärmen bzw. abkühlen, sind die Schwankungen in radialen Spiel relativ begrenzt.

Dies ändert sich jedoch bei einem sogenannten Warmstart: Bei einem Warmstart hat der Verdichter nach einem vorangegangenen Abschalten keine Gelegenheit, sich vollständig abzukühlen, weil das Starten relativ kurzfristig nach dem Abschalten erfolgt. In diesem Fall hat sich das ausenliegende Verdichtergehäuse 2 schneller abge-

kühlt als der innenliegende Rotor. Die dadurch bedingte unterschiedlich starke Kontraktion resultiert in einer deutlichen Verringerung des radialen Spiels, die zusätzliche Massnahmen erforderlich macht. Zwar kann diese Besonderheit grundsätzlich durch eine Vergrösserung des gewählten Spiels berücksichtigt werden, jedoch führt diese Vergrösserung im Normalbetrieb zu einer Verschlechterung des Wirkungsgrades.

Bei der vorliegenden Erfindung ist statt dessen vorgesehen, das Verdichtergehäuse bei einem Warmstart so aufzuheizen, dass die übermässige Abkühlung ausgeglichen wird und deshalb bei der Auswahl des radialen Spiels auf den Fall des Warmstarts keine Rücksicht genommen zu werden braucht. Zu diesem Zweck sind im Ausführungsbeispiel der Fig. 1 im Verdichtergehäuse 2 Heizkanäle 7a-c vorgesehen, durch welche umlaufend unter Druck ein aufgeheiztes Heizmedium, insbesondere Wasserdampf oder Druckluft, gepresst werden kann. Der Einsatz von Wasserdampf ist dabei insbesondere denkbar, wenn (i) eine Dampdwuelle vorhanden ist, (ii) die Temperatur des Metalls kleiner  $600^{\circ}\text{C}$  ist, und (iii) die Temperatur des Wasserdampfes grösser ist als die der Verdichterluft. Die Heizkanäle 7a-c sind einfacherweise als ringförmig umlaufende Nuten in den Böden der Schaufeleindrehungen 8 ausgebildet und können so beim Fertigen der Schaufeleindrehungen 8 gleich mitgefertigt werden.

Jeweils mehrere, vorzugsweise drei, der Heizkanäle 7a-c sind in einer Reihe hintereinandergeschaltet und werden vom Heizmedium entgegen der Strömungsrichtung des Verdichters 1, in der Darstellung der Fig. 1 bis 3 also von links nach rechts, durchflossen. Durch die Reihenschaltung ergibt sich ein axiales Temperaturgefälle, welches dem im Verdichter während des Betriebes entstehenden Temperaturgefälle in etwa entspricht. Um die Temperaturverteilung quer zur Verdichterachse zu homogenisieren und Verkrümmungen des Schaufelträgers zu vermeiden, wird das Heizmedium dabei in benachbarten Heizkanälen vorzugsweise mit wechselndem Umlaufsinn geführt (siehe Fig. 6). Die Reihenschaltung kann grundsätzlich durch eine geeignete äussere Verbindung zwischen den einzelnen benachbarten Heizkanälen realisiert werden. Bevorzugt wird im Rahmen der Erfindung jedoch eine interne Reihenschaltung, die anhand der Fig. 2 bis 4 erläutert werden kann (eine Parallelschaltung ist ebenfalls denkbar, und zwar abhängig von der Druckdifferenz  $\Delta p$ ).

Die bevorzugte interne Reihenschaltung der Heizkanäle 7a-c macht sich den Umstand zunutze, dass das Verdichtergehäuse 2 in der Regel entlang einer Trennebene 18 in zwei Hälften, ein Gehäuseoberteil 2b und ein Gehäuseunterteil 2a, unterteilt ist (Fig. 4). Von der Trennebene 18 her sind ab-

wechselnd in das Gehäuseoberteil 2b und das Gehäuseunterteil 2a jeweils in Achsenrichtung Transferkanäle 9, 16 eingefräst, die jeweils zwei benachbarte Heizkanäle (in Fig. 2 die Heizkanäle 7a und 7b, und in Fig. 3 die Heizkanäle 7b und 7c) untereinander verbinden. Bei drei in Reihe geschalteten Heizkanälen 7a-c sind insgesamt zwei Transferkanäle (9 und 16) notwendig. Fig. 2 zeigt dabei den Schnitt durch das Gehäuseoberteil 2b entlang der Ebene Z-Z aus Fig. 4; der Transferkanal 9 ist entsprechend geschnitten. Fig. 3 zeigt die Draufsicht auf das Gehäuseunterteil 2a von der Trennebene 18 her; der Transferkanal 16 ist dabei entsprechend in der Draufsicht zu sehen.

Der Transferkanal 9 (ebenso wie auch der Transferkanal 16) ist zur Trennebene 18 hin durch eine Trennplatte 17 (Fig. 4) abgeschlossen. Die Trennplatte 17 ist breiter und länger als der zugehörige Transferkanal und ruht auf einem den Kanal umgebenden Absatz (10 beim Transferkanal 9 in Fig. 2 bzw. 15 beim Transferkanal 16 in Fig. 3). Die Trennplatte 17 reicht zur Verdichterachse hin bis an die Schaufeleindrehungen 8 und unterbricht dadurch in der Trennebene 18 gleichzeitig die beiden Heizkanäle 7a,b, die durch den zugehörigen Transferkanal 9 verbunden sind. Diese Unterbrechung ist notwendig, um im jeweiligen Heizkanal eine bestimmte Strömungsrichtung des Heizmediums festlegen zu können. Beide Transferkanäle 9, 16 überlappen im Bereich des mittleren Heizkanals 7b, sind dort aber untereinander durch die beiden Trennplatten getrennt.

Bei den drei in den Figuren dargestellten, in Reihe geschalteten Heizkanälen 7a-c wird nun das Heizmedium durch einen Einlasskanal 14 und einen Einlassraum 13 (Fig. 2) in den am weitesten stromab gelegenen Heizkanal 7a eingespiessen. Der Einlasskanal 14 mündet dabei auf der dem Transferkanal 9 gegenüberliegenden Seite der Trennplatte 17 in den Heizkanal (Fig. 4). Das Heizmedium umrundet in dem ersten Heizkanal 7a in einem ersten Drehsinn einmal die Verdichterachse, gelangt dann über den ersten Transferkanal 9 in den mittleren Heizkanal 7b, umrundet dort in einem entgegengesetzten Drehsinn ein zweites Mal die Verdichterachse, gelangt dann über den zweiten Transferkanal 16 in den dritten Heizkanal 7c, umrundet dort die Verdichterachse ein drittes Mal in einem erneut geänderten Drehsinn und tritt schliesslich über einen mit dem Heizkanal 7c verbundenen Auslassraum 11 und Auslasskanal 12 (Fig. 2 und 6) wieder nach aussen. Dieser Strömungsweg des Heizmediums durch die drei mittels der Transferkanäle 9, 16 in Reihe geschalteten Heizkanäle 7a-c ist noch einmal zur Verdeutlichung in schematisierter perspektivischer Darstellung in Fig. 6 wiedergegeben. Obgleich bei dem hier vorgestellten bevorzugten Ausführungsbeispiel die

Heizkanäle jeweils in Gruppen zu drei Kanälen in Reihe geschaltet sind, versteht es sich von selbst, dass im Rahmen der Erfindung die Zusammenschaltung verschiedener Heizkanäle auch in anderer Weise durchgeführt werden kann.

Als Heizmedium wird bevorzugt Druckluft, insbesondere saubere Instrumentenluft, verwendet. Die Druckluft wird gemäss Fig. 5 über einen Druckluftanschluss 25 und eine Heizung 22 mittels einer Druckluftzuleitung 27 zum Verdichtergehäuse 2 transportiert. Die Heizung 22 ist vorzugsweise ein mit Gas (Propan, Butan o.dgl.) arbeitender Wärmetauscher oder eine elektrische (Widerstands-)Heizung. Die Druckluft mit etwa 0,6 MPa Druck wird in der Heizung 22 erwärmt und in die Heizkanäle 26 gedrückt, sobald der Verdichter 1 abgestellt wird. Die mit der Heizung 22 erreichte Temperatur des Druckmediums wird dabei vorzugsweise 50 bis 100 K über der Metalltemperatur des Verdichters bei Normalbetrieb (d.h. etwa 600 °C) gewählt. Die Heizung und die Druckluftzufuhr werden abgestellt, sobald der Verdichter einen bestimmten Teil seiner Vollast, vorzugsweise etwa 75% bis 100%, erreicht hat. Dies kann über ein Hauptventil 24 erfolgen, welches zwischen Druckluftanschluss 25 und Heizung 23 angeordnet ist. Zwischen dem Hauptventil 24 und der Heizung kann zusätzlich eine Hilfsleitung 19 in die Druckluftzuleitung 27 münden, die ein Rückschlagventil 21 enthält und mit Verdichterluft beaufschlagt werden kann. Die Verdichterluft tritt dann an die Stelle der von aussen zugeführten Druckluft, wenn der Verdichter nach dem Anlaufen selbst einen ausreichenden Druck erzeugt, um das Rückschlagventil 21 zu öffnen. In der Hilfsleitung 19 ist zusätzlich ein Ventil 28 vorgesehen, welches im Normalbetrieb geschlossen ist, um Rückströmungen zu vermeiden.

Bei einer bevorzugten Tiefe T der Heizkanäle 7a-c von wenigen Millimetern, insbesondere 1 bis 5 mm, und einer bevorzugten Breite B von wenigen Zentimetern, insbesondere 20 bis 40 mm, und einem mittleren Umfang von z.B. 1,6 m ergibt sich bei den gewählten Drücken eine Geschwindigkeit der Luft in den Heizkanälen von 100 bis 250 m/s und ein Volumendurchsatz von 0,004 bis 0,04 m<sup>3</sup>/s. Die für die Heizung 22 benötigte und über eine Heizungszuleitung 23 zugeführte Heizleistung liegt in der Grössenordnung von 50 bis 200 kW. Bei einem Eingangsdruck von 0,6 MPa beträgt der Druck der Luft am Auslass 20 (Fig. 5) etwa 0,1 MPa.

Insgesamt ergibt sich mit der Erfindung ein Verdichter, der ohne Einbusse hinsichtlich des Wirkungsgrades für einen Warmstart geeignet ist.

## BEZEICHNUNGSLISTE

1	Verdichter	
2	Verdichtergehäuse	
2a	Gehäuseunterteil	
2b	Gehäuseoberteil	
3	Rotor	
4, 4a-c	Leitschaufel	
5a-d	Laufschaukel	
6a-c	Schaukelarm (Leitschaukel)	
7a-c	Heizkanal	
8	Schaukelarmdrehung (Leitschaukel)	
9, 16	Transferkanal	
10, 15	Absatz (Trennplatte)	
11	Auslassraum	
12	Auslasskanal	
13	Einlassraum	
14	Einlasskanal	
17	Trennplatte	
18	Trennebene	
19	Hilfsleitung	
20	Auslass	
21	Rückschlagventil	
22	Heizung (Wärmetauscher)	
23	Heizungszuleitung	
24	Hauptventil	
25	Druckluftanschluss	
26	Heizkanal	
27	Druckluftzuleitung	
28	Ventil	
T	Tiefe (der Heizkanäle bzw. Nuten)	
B	Breite (der Heizkanäle bzw. Nuten)	

welche umlaufend ein aufgeheiztes Heizmedium geschickt werden kann.

3. Verdichter nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass jeweils mehrere, vorzugsweise drei, Heizkanäle (7a-c) in einer Reihe hintereinandergeschaltet sind, und dass das Heizmedium diese Reihe entgegen der Strömungsrichtung des Verdichters (1) durchfließt.

4. Verdichter nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Heizkanal (7a-c) für sich genommen einen Kreisring bildet, und bei in Reihe geschalteten Heizkanälen die benachbarten einzelnen Heizkanäle durch parallel zur Verdichterachse laufende Transferkanäle (9, 16) untereinander verbunden sind.

5. Verdichter nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Heizmedium in benachbarten Heizkanälen mit wechselndem Umlaufsinn geführt wird.

6. Verdichter nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Verdichtergehäuse (2) entlang einer Trennebene (18) in ein Gehäuseoberteil (2b) und ein Gehäuseunterteil (2a) unterteilt ist, dass die Heizkanäle (7a-c) in der Trennebene (18) unterbrochen sind, und dass die Transferkanäle (9, 16) abwechselnd oberhalb und unterhalb der Trennebene (18) verlaufen.

## Patentansprüche

1. Verdichter, insbesondere für eine Gasturbine, welcher Verdichter (1) einen an seinem Umfang mit einer Mehrzahl von Laufschaukeln (5a-d) besetzten, um eine Verdichterachse drehbar gelagerten Rotor (3) umfasst, sowie ein Verdichtergehäuse (2), welches den Rotor (3) konzentrisch umgibt, wobei zwischen den äusseren Enden der Laufschaukeln (5a-d) und der Innenwand des Verdichtergehäuses (2) ein radiales Spiel vorgesehen ist, dadurch gekennzeichnet, dass zur Verringerung der Schwankungen des radialen Spiels das Verdichtergehäuse (2) heizbar ausgebildet und mit einer separaten, vom Betrieb des Verdichters unabhängigen Heizvorrichtung (22, 25, 27) verbunden ist, mittels derer es bei einem Warmstart aufgeheizt werden kann.
2. Verdichter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass im Verdichtergehäuse (2) eine Mehrzahl von umlaufenden und in Richtung der Verdichterachse hintereinander angeordneten Heizkanälen (7a-c) vorgesehen sind, durch

7. Verdichter nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Verdichtergehäuse (2) an seinem inneren Umfang mit einer Mehrzahl von Leitschaukeln (4, 4a-c) besetzt ist, dass zur Aufnahme der Leitschaukeln (4, 4a-c) am inneren Umfang des Verdichtergehäuses (2) Schaukelarmdrehungen (8) vorgesehen sind, in welche die Leitschaukeln (4, 4a-c) mit entsprechenden Schaukelarmfüßen (6a-c) eingeschoben sind, und dass die Heizkanäle (7a-c) jeweils durch Nuten gebildet werden, welche in die Böden der Schaukelarmdrehungen (8) eingelassen sind.

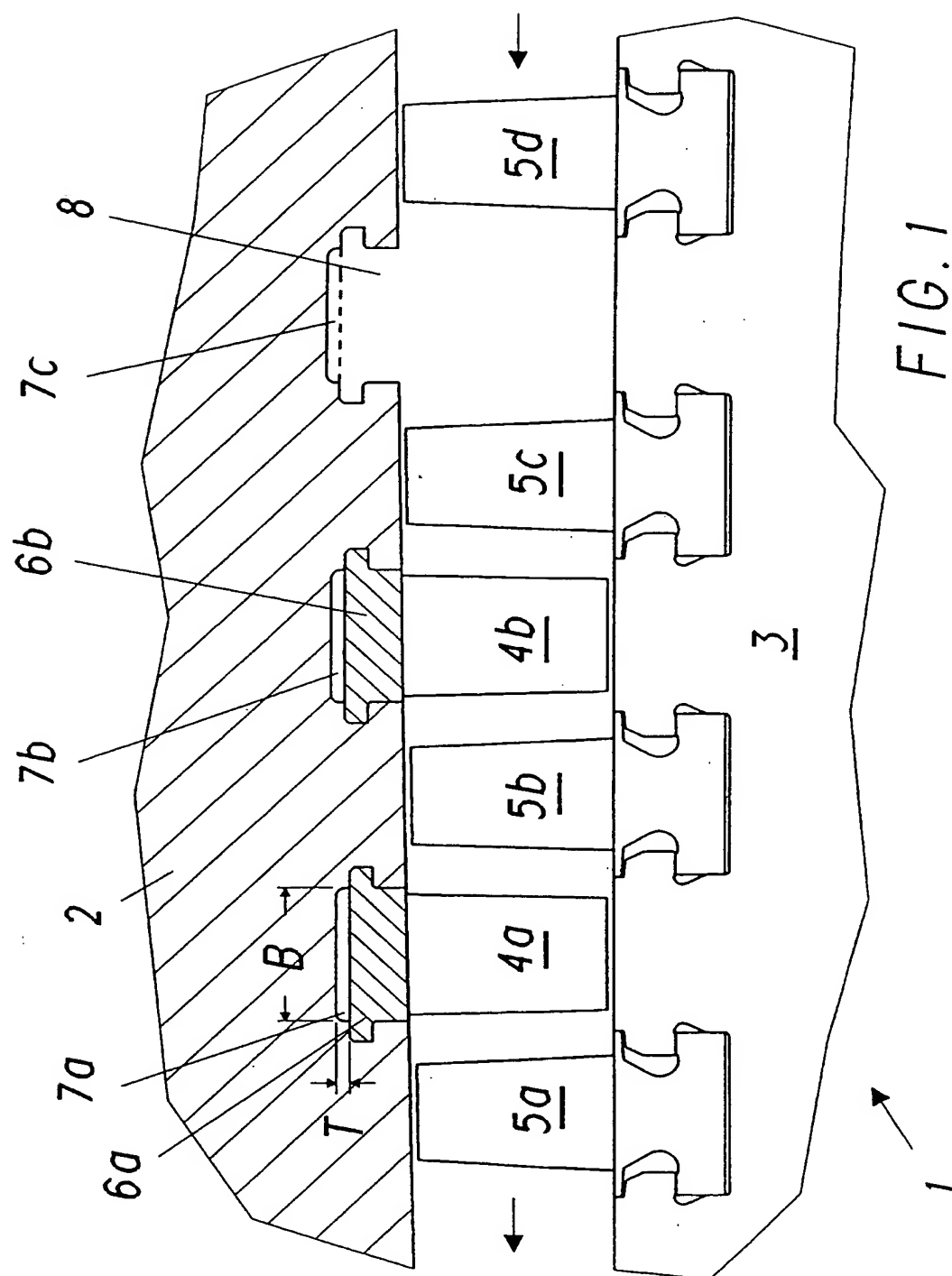
8. Verdichter nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Nuten bzw. Heizkanäle (7a-c) eine Tiefe (T) von wenigen, insbesondere 1 bis 5 Millimetern, und eine Breite (B) von einigen Zentimetern, insbesondere 20 bis 40 mm, aufweisen.

9. Verdichter nach einem der Ansprüche 2 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass als Heizmedium Druckluft verwendet wird, und dass die Heizvorrichtung einen Druckluftanschluss 25 um-

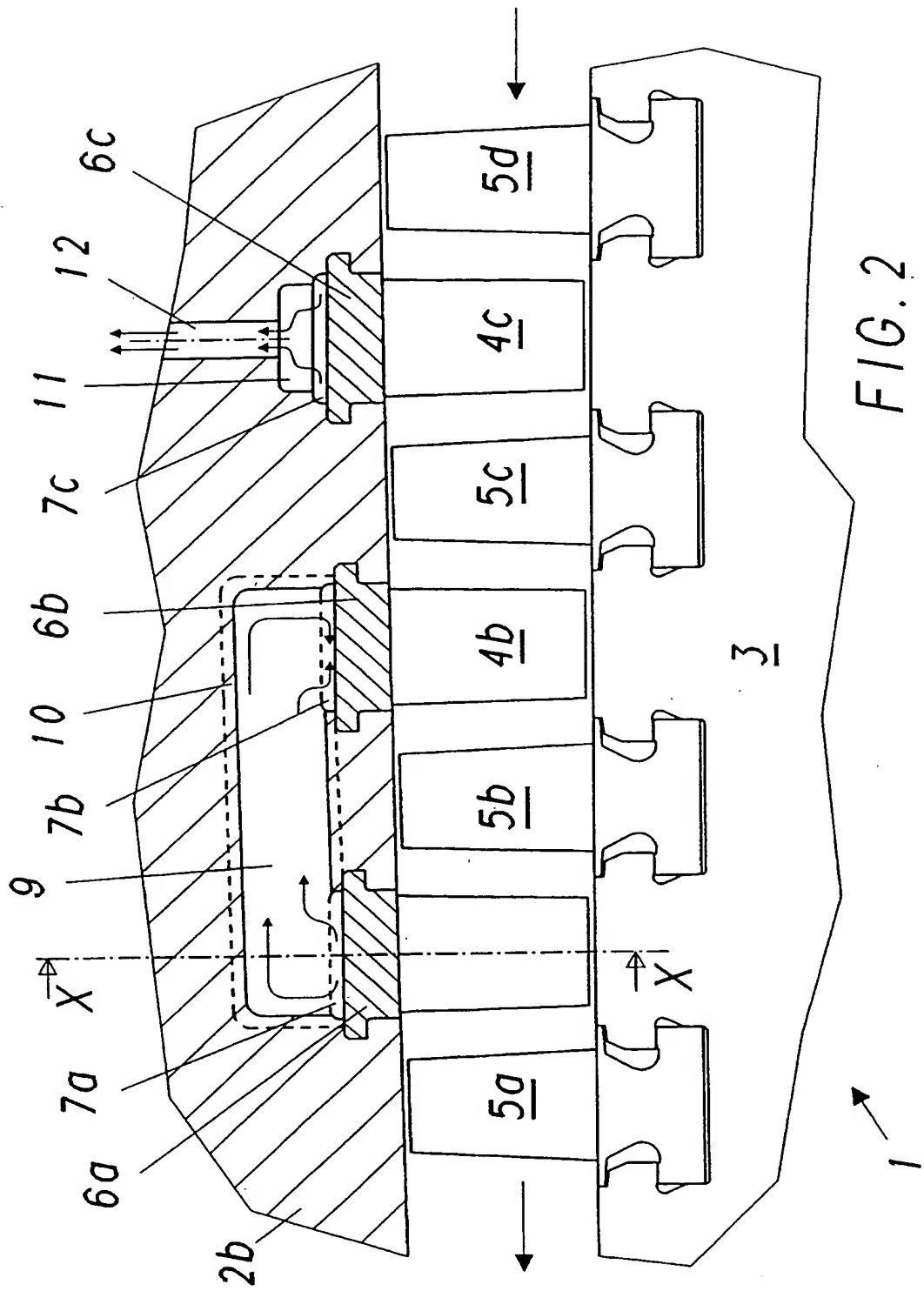
fasst, von welchem eine Druckluftzuleitung (27) über eine Heizung (22) zum Verdichtergehäuse (2) führt.

brochen und an deren Stelle verdichtete Luft vom Ausgang des Verdichters (1) abgezweigt und verwendet wird.

10. Verdichter nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Heizung (22) als Wärmetauscher ausgebildet ist. 5
11. Verdichter nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Heizung (22) als elektrische Heizung ausgebildet ist. 10
12. Verdichter nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Druckluftanschluss (25) und der Heizung (22) ein Hauptventil (24) angeordnet ist, und dass zwischen dem Hauptventil (24) und der Heizung (22) eine mit einem Rückschlagventil (21) ausgerüstete Hilfsleitung (19) in die Druckluftzuleitung (27) mündet, durch welche Hilfsleitung (19) Verdichterluft eingespeist werden kann. 15  
20
13. Verfahren zum Betrieb eines Verdichters nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Vorbereitung eines Warmstarts das Verdichtergehäuse (2) nach dem Abschalten des Verdichters (1) aufgeheizt wird, und dass das Aufheizen erst dann beendet wird, wenn der Verdichter (1) nach dem Warmstart einen bestimmten Teil, vorzugsweise etwa 75% bis 100%, seiner Vollast erreicht hat. 25  
30
14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass zur Heizung des Verdichtergehäuses (2) Druckluft erhitzt und durch in dem Verdichtergehäuse verlaufende Heizkanäle (7a-c) gepresst wird. 35
15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die heiße Druckluft mit einem Druck von etwa 0,6 MPa bei einem Volumenstrom zwischen 0,004 und 0,038 m<sup>3</sup>/s durch die Heizkanäle (7a-c) gepresst wird. 40  
45
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 und 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Druckluft in der Heizung (22) auf eine Temperatur von 50 bis 100 K über der Metalltemperatur des Verdichters (1) im Normalbetrieb aufgeheizt wird. 50
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass beim Warmstart des Verdichters zunächst Druckluft von aussen zugeführt und nach Erreichen eines vorbestimmten Arbeitsdruckes im Verdichter (1) die Zufuhr der Druckluft von aussen unter- 55
18. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass zur Heizung des Verdichtergehäuses (2) Dampf als Heizmittel verwendet wird.







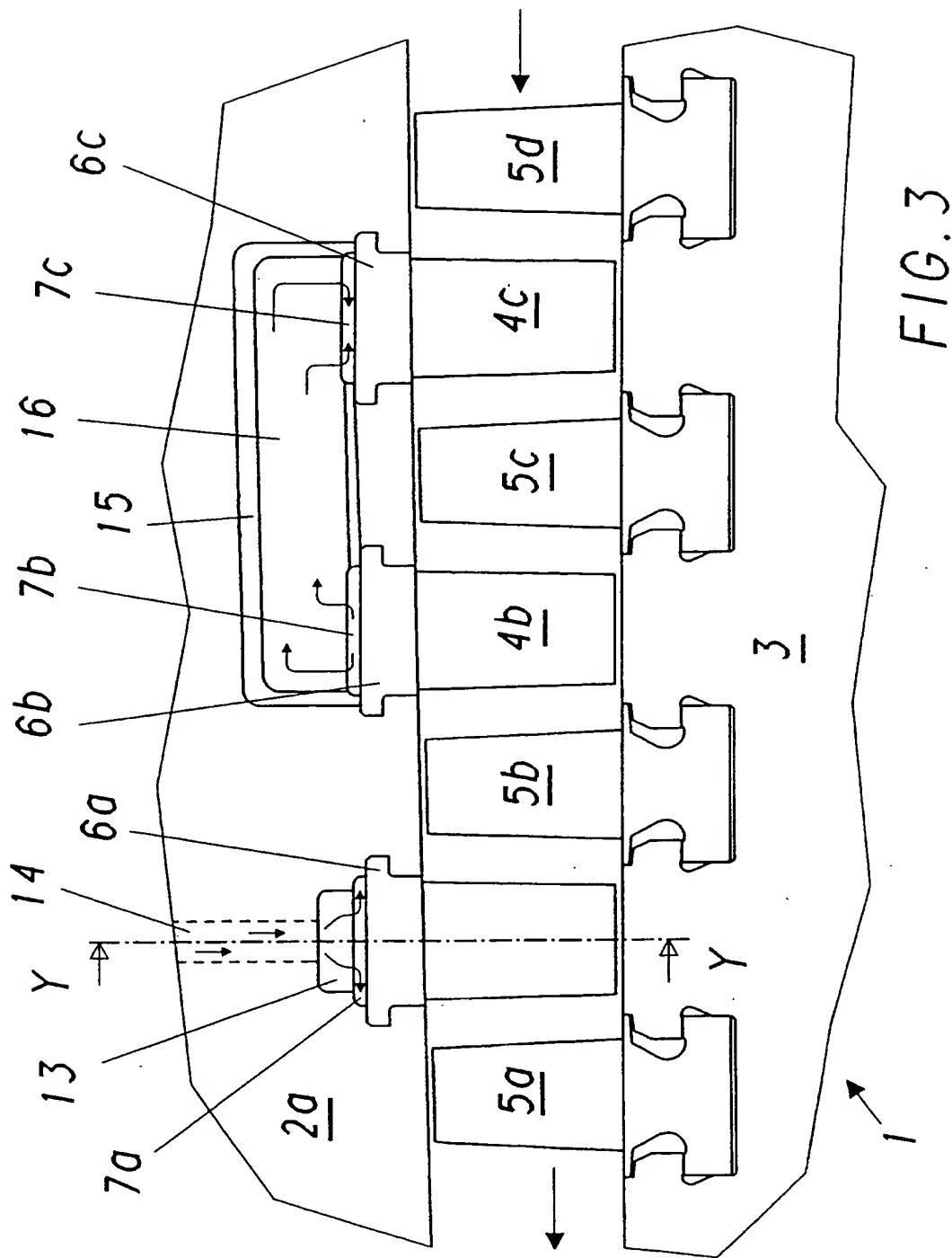
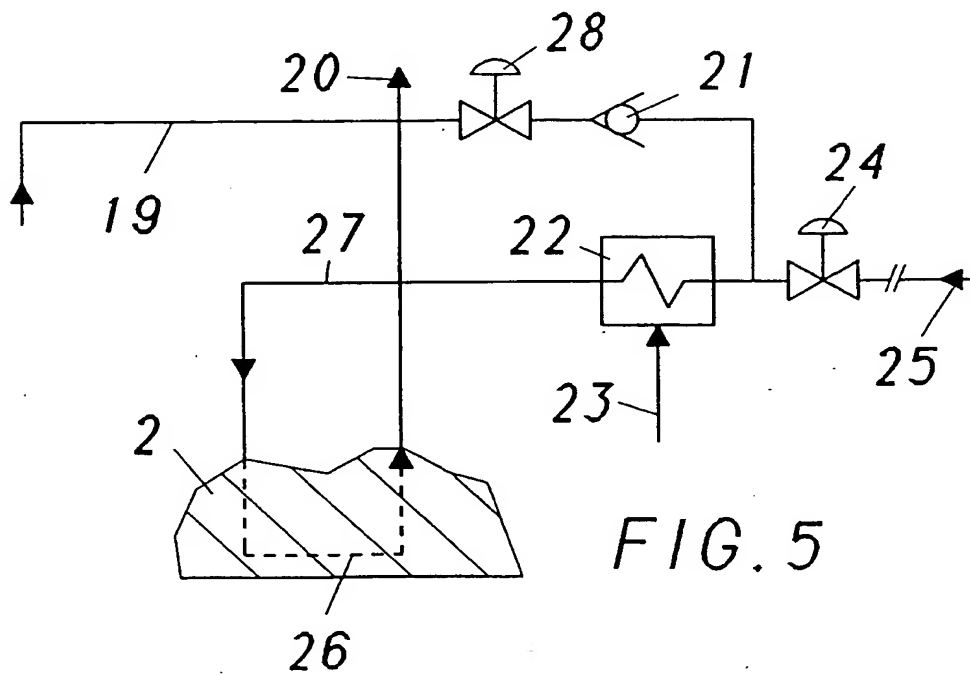
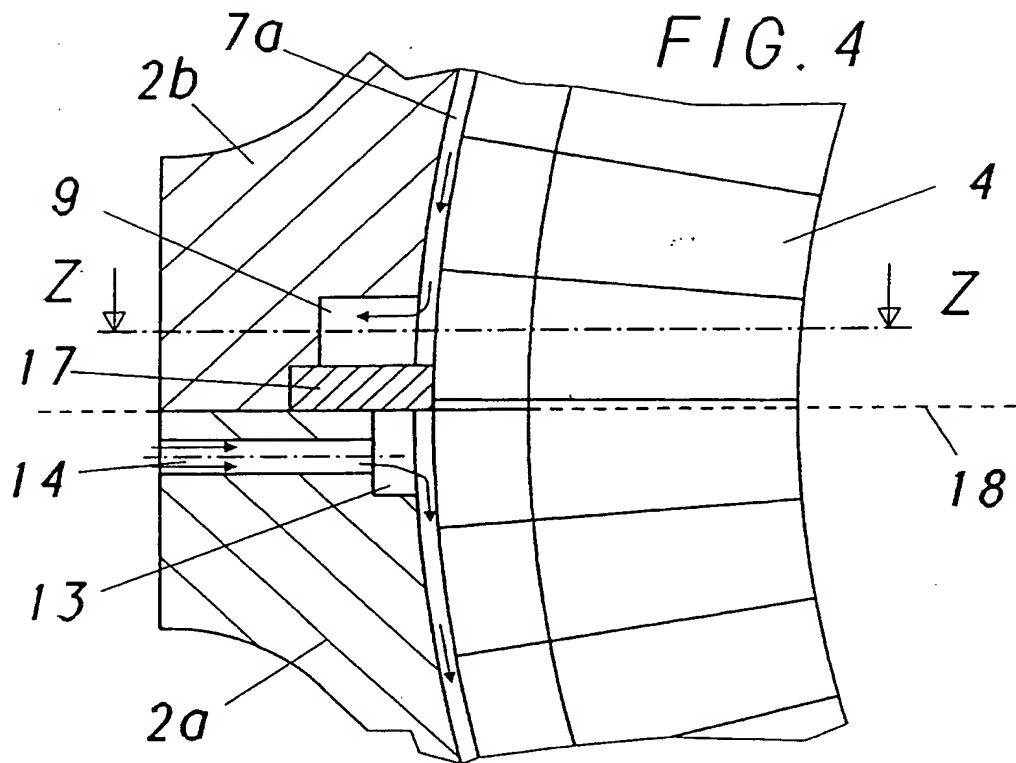
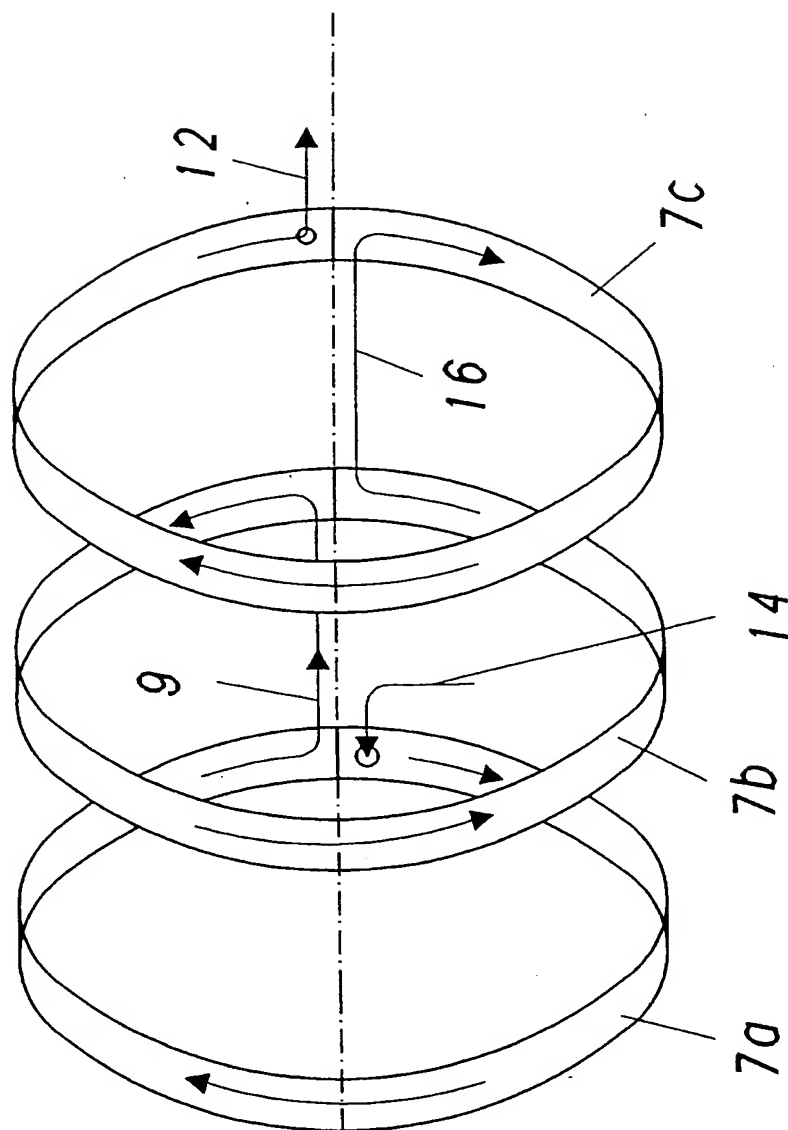


FIG. 3







Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 94 11 1521

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
A	GB-A-2 103 718 (NUOVO PIGNONE) * das ganze Dokument *	1, 11	F04D29/58
A	BE-A-649 186 (LICENTIA PATENT-VERWALTUNGS) * das ganze Dokument *	1, 2, 11, 18	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 7, no. 145 (M-224) 24. Juni 1983 & JP-A-58 057 100 (HITACHI) 5. April 1983 * Zusammenfassung *	1	
A	US-A-1 541 834 (LÖSEL) * das ganze Dokument *	1, 18	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 14, no. 404 (M-1018) 31. August 1990 & JP-A-21 053 232 (HITACHI) 12. Juni 1990 * Zusammenfassung *	10, 12	
A	EP-A-0 541 325 (GENERAL ELECTRIC) * Zusammenfassung; Abbildungen 3, 5 *	1, 5	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6) F04D F01D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchesort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
DEN HAAG	2. Dezember 1994	Zidi, K	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument A : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			